International Science Journal of Engineering & Agriculture
2022; 1(3): 229-246
https://isg-journal.com/international-science-journal-of-engineering-agriculture/
doi: 10.46299/j.isjea.20220103.19
ISSN: 2720-6319

ДО ПРИРОДИ СИЛИ ПРИСКОРЕНОГО РОЗШИРЕННЯ ВСЕСВІТУ І ФІЗИЧНОГО МЕХАНІЗМУ УТВОРЕННЯ «КОСМІЧНОЇ ПАВУТИНИ»

Іван Володимирович Карпенко[1]
[1]Українська нафтогазова Академія (УНГА), Київ, Україна
ORCID 0000-0002-2500-8960

Електронна адреса: ivankarpenko26@gmail.com

Для цитування цієї статті:
Іван Карпенко. До природи сили прискореного розширення всесвіту і фізичного механізму утворення «космічної павутини». International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 1, No. 3, 2022, pp. 229-246. doi:10.46299/j.isjea.20220103.19.
Надійшла до редакції: 20 липня 2022 р.; **Схвалено:** 29 липня 2022 р.;
Опубліковано: 01 серпня 2022 р.

Анотація. Показано, що отримана в рамках польової теорії тяжіння модифікована формула тяжіння Ньютона (МФТН) є динамічно прийнятною. Згідно неї для випадку однорідного статичного Всесвіту прискорення на нескінченності прямує до нуля, а значення гравітаційного потенціалу до величини, що дорівнює половині квадрату швидкості світла. Така поведінка потенціалу є сприятливою передумовою для переходу Всесвіту з нестійкого статичного стану в динамічний стан розширення (розтягування) всієї «тканини» вселенського простору. Розширення Всесвіту розглядається як його внутрішня властивість. Детальніше розглянуто як відбувається щільнісна фрагментація структури Всесвіту – утворення об'ємних космічних порожнин та павутини (комірчастої щільнісної структури). Показано, що не весь простір однорідного Всесвіту впливає на величину поля в довільній точці всередині порожнини. В статичному Всесвіті такий вплив мають лише прилеглі до центру порожнини маси, що знаходяться на відстані не більше трьох радіусів кулястої порожнини. Досліджується природа сили, що призводить до прискореного розбігу галактик. Поява сили розтягування («відштовхувальної») відбувається у випадку, коли щільність зовнішніх мас більша за щільність прилеглих до центру будь-якої кулі всередині Всесвіту внутрішніх мас. У однорідному Всесвіті таке збільшення можливе тільки з урахуванням релятивістської енергії галактик, що рухаються. Оскільки з віддаленням від точки початку координат швидкості галактик збільшуються, то відповідно і їхня релятивістська маса також збільшується. Тому в Всесвіті, що розширюється, щільність зовнішніх мас для будь-якої кулі

всередині Всесвіту завжди більша щільності внутрішніх мас. Ця відмінність супроводжується появою спрямованого в усі сторони від початку координат прискорення розтягування, тим більшого, чим далі знаходиться галактика від початку координат. Релятивістське збільшення віддалених мас відбувається щодо будь-якої точки Всесвіту. Тому середнє значення щільності речовини в динамічному Всесвіті буде значно більше, ніж у статичному Всесвіті. Це полегшує розуміння того факту, що щільність спостережуваної речовини у Всесвіті значно менша за необхідне для існування плоского Всесвіту критичне значення щільності. У нашому випадку роль необхідної «добавки», або «темної енергії» виконує релятивістська енергія динамічного Всесвіту. Одночасно з силою розтягування на досліджувану галактику діє і сила тяжіння з боку внутрішніх мас. Певним «вододілом» між порівняльним впливом сил гравітаційного тяжіння і розтягування є точка малого гравітаційного радіуса, у якій в статичному Всесвіті прискорення тяжіння перериває своє зростання і починає зменшуватися, тоді як прискорення розтягування продовжує зростати. Ця точка поділяє Всесвіт на ближній і дальній підпростори. Якщо Всесвіт залишався плоским протягом, наприклад, фрідманівського часу його існування, то на тлі Всесвіту, що розширюється, зберігався і поділ простору на ближній підпростір з переважанням сил тяжіння і дальній – з переважанням сил розтягування.

Ключові слова. гравітаційна модель, всесвіт, постньютонівське наближення, прискорений розбіг галактик, гравітаційний радіус, гравітаційний потенціал, космічні дослідження.

---

1. Вступ та постановка задачі.

Вважається [1,2], що у разі однорідного та ізотропного Всесвіту прискорення тяжіння (або напруженість гравітаційного поля) на поверхні виділеного всередині її сферичного тіла залежить тільки від маси тіла і не залежить від мас, що знаходяться поза цим тілом. Так само і у випадку планети чи зірки вважається, що напруженість поля всередині цього тіла залежить лише від мас, що знаходяться під сферою, якій належить досліджувана точка, і не залежить від мас тіла, що розташовані поза цією сферою.

Цей висновок є наслідком не лише теорії тяжіння Ньютона, а й загальної теорії відносності (ЗТО) [3]. При цьому в рамках названих теорій для слабких гравітаційних полів та одиничної маси формула тяжіння Ньютона (ФТН) має вигляд:

$$\varphi = -\frac{GM}{r}, \quad g = -\frac{\partial\varphi}{\partial r} = GM/r^2 , \tag{1}$$

де M – маса сферичного тіла, φ та g – гравітаційний потенціал та прискорення тяжіння на його поверхні, r – радіус тіла, G – гравітаційна константа.

Але дослідження поведінки гравітаційного поля для випадку зосередженої маси (матеріальної точки) показало, що загальніший вираз для ФТН повинен мати такий вигляд [4]:

$$\varphi = -\frac{GM}{r+r_g}, \quad g = -\frac{\partial\varphi}{\partial r} = \frac{GM}{\left(r+r_g\right)^2}, \quad r_g = 2GM/c^2, \tag{2}$$

де c – швидкість світла, а r_g– гравітаційний радіус.

У разі розосередженої маси вираз (2) має вигляд:

$$\varphi(r_i) = -\frac{Gm_i}{r_i+r_{g_i}}, \quad a(r_i) = -\frac{Gm_i}{(r_i+r_{g_i})^2}, \quad r_{g_i} = \frac{2Gm_i}{c^2}, \quad 0 \le r < \infty. \tag{3}$$

Тут m_i - маса кулі радіусом r_i, виділеної всередині середовища з розосередженою масою.

Це модифікована формула тяжіння Ньютона (МФТН), що забезпечує коректне визначення поля у всьому діапазоні значень r, у тому числі і всередині сфери Шварцшильда, тобто при $0 \le r \le r_g$. Останнє є особливо важливим для вивчення гравітаційного поля Всесвіту, радіус якого R дорівнює його гравітаційному радіусу r_g, тому вся його речовина знаходиться в діапазоні значень $0 \le r \le r_g$.

Зазначимо наявність багатьох робіт, спрямованих на модифікацію теорії тяжіння Ньютона, наприклад [5], що адаптує формулу Ньютона для пояснення темної матерії галактик. Але в нашому випадку йдеться не про адаптацію формули Ньютона до того чи іншого природного явища. МФТН є природним розвитком польової теорії тяжіння та її слід розглядати як сучасний вигляд формули тяжіння Ньютона. У певному сенсі ідеологія МФТН близька до спеціальної теорії відносності польової теорії тяжіння, що розвивається на базі релятивістської теорії гравітації (РТГ) [6,7].

У роботі [4] обґрунтовується, що для випадку стаціонарного Всесвіту поведінка гравітаційного поля всередині гравітаційного радіусу ($0 \le r \le r_g$), описувана формулою (3), виявляє властивість обмеженої дальності дії поля. Його сутністю є те, що в діапазоні відстаней $0 \le r \le r_e$, $r_e = r_g/\sqrt{3}$ від центру тіла прискорення тяжіння, спрямоване до центру мас тіла, зростає, а далі при значеннях $r > r_e$ зменшується аж до нуля на нескінченності. При цьому у Всесвіті - як середовищі з однорідно розосередженою масою – в якості центру мас може бути прийнята будь-яка галактика.

Для випадку гравітаційного поля сучасного Всесвіту $r_e = 7{,}84$ млрд. світлових років; вік Всесвіту прийнято рівним 13,79 млрд. років (дані на 22.07.2020). Це означає, що починаючи з відстані 7,84 млрд. світлових років від будь-якої галактики Всесвіту прискорення тяжіння до галактики, що розглядається, зменшується і, відповідно, «далекі» галактики рухаються швидше, ніж «приписано» їм законом Хаббла.

Якщо врахувати, що за віковою шкалою Всесвіт знаходиться в точці 13,79 млрд. років, то отримана теоретична оцінка відповідає експериментально встановленому в 1998-1999 роках факту, відзначеному в 2011 Нобелівською премією, що 5-6 млрд. років тому космічний простір почав розширюватися не з падаючою, а зростаючою швидкістю. Як бачимо, теоретична оцінка - (13,79 - 7,84) = 5,83 млрд. років тому потрапляє в експериментально встановлений діапазон.

Але експериментально підтверджено факт прискореного розширення космічного простору. Прискорене розширення вимагає наявності діючої сили. У формальному відношенні як така була запропонована «темна енергія» (лямбда-член у рівняннях тяжіння Ейнштейна), але фізична природа цієї сили все ще залишається дискусійною [8].

Зазначимо також, що і описана вище властивість обмеженої далекодії також не пояснює факту прискореного розбігу галактик. В цілому, ця властивість отримано для випадку стаціонарного Всесвіту, тобто без урахування розбігу галактик або розширення Всесвіту, як би для випадку на мить «замороженого» його стану. Але застосування цього рішення для наступної миті після «розморожування» дозволяє зробити висновок, що на віддалях $r > r_e$ галактики повинні рухатися швидше, але не прискорено.

Аналіз показує, кожна галактика у даному разі розглядається як інерційна система з постійної швидкістю для фіксованого моменту часу. І величина прискорення тяжіння (гальмування) визначається лише масами, що знаходяться всередині сфери під досліджуваною галактикою. Тому питання, звідки береться сила для прискореного руху «далеких» галактик, залишається відкритим і буде розглянуто у цьому дослідженні.

2. Короткий аналіз стану проблеми.

Розгляд сил, відповідальних за прискорене розширення Всесвіту, у фізиці йшло паралельно з з'ясуванням природи так само таємничих сил, які відповідають за явище інерції. На даний час для однорідних полів (гравітаційного та інерційного) доведено принцип еквівалентності гравітаційних сил та сил інерції. Але для неоднорідних полів це твердження потребує уточнення. Лише для невеликих об’ємів простору неоднорідне гравітаційне поле можна вважати практично однорідним (локальний характер принципу еквівалентності) [9-12].

Закон інерції в космології можна сформулювати наступним чином [12]: система, на яку не діють жодні сили, знаходиться або в спокої, або в стані рівномірного прямолінійного руху по відношенню до абсолютного простору (в уявленні Ньютона) або до ідеалізованого уявлення про нерухомі зірки як про жорстку систему (Мах). Мах стверджував, що інерцію у Всесвіті можна обмежити масивними тілами, які утворюють жорстку систему нерухомих зірок на великих віддалях.

Під впливом цієї ідеї Ейнштейн також у своїх рівняннях тяжіння спробував пояснити інерцію матеріальною сутністю Всесвіту. Він звернув увагу, що рівняння Ньютона-Пуассона для гравітаційного потенціалу φ

$$\Delta\varphi = 4\pi G\rho \tag{4}$$

допускає тільки таку середню щільність ρ, яка прямує до нуля швидше, ніж $1/r^2$ при прямуванні $r \to \infty$. Інакше потенціал на нескінченності набуває нескінченного значення. Але якщо це рівняння записати у такому вигляді:

$$\Delta\varphi - \lambda\varphi = 4\pi G\rho, \tag{5}$$

Де λ – константа, а ρ – щільність речовини у просторі однорідного та ізотропного Всесвіту, то рішення стає динамічно прийнятним.

Зазначимо, що запропоноване нами рівняння (3) також є динамічно прийнятним. Згідно з ним для випадку рівномірно розподіленої щільності у просторі Всесвіту прискорення на нескінченності прямує до нуля, а значення гравітаційного потенціалу до величини $-c^2/2$. При цьому в певному сенсі роль константи λ в МФТН виконує змінна r_{g_i} - значення гравітаційного радіусу, що повністю визначається масою m_i і постулатом про неможливість перенесення енергії зі швидкістю більшої швидкості світла.

У ЗТВ Ейнштейн поступає подібним до виразу (5) чином [8]. Свої рівняння тяжіння

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -\chi T_{\mu\nu} \tag{6}$$

він замінює виразом

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R \; - \; \lambda g_{\mu\nu} \; = -\chi T_{\mu\nu} \; . \tag{7}$$

Цим рівнянням вирішується проблема з ньютонівською нескінченністю і, що має безпосереднє відношення до нашої проблеми, пропонується динамічна реалізація принципу відносності інерції. Рівняння (7) має розв’язок за умови

$$\lambda = \frac{4\pi G\rho}{c^2}\,, \tag{8}$$

де ρ – постійна щільність. Цей розв'язок не пов'язував інерцію з віддаленими зірками, але й «…це здавалося Ейнштейну непоганим початком» [Пайс, 1989].

Справа в тому, що в рівнянні (7) λ - член відповідає за як би властиву безпосередньо простору негативну або «відштовхувальну» гравітаційну енергію, а не за гравітаційну енергію притягування далеких зірок. В даний час

математично абстрактному λ - члену при його значенні λ>0 приписується фізичний зміст темної енергії або густини енергетичного вакууму.

Але 1922 року А. А. Фрідман показав, що рівняння (6) без λ – члена допускає нестаціонарні розв'язки рівнянь тяжіння Ейнштейна. Це означало відсутність необхідності «відштовхувальної» гравітації для Всесвіту, що розширюється. У 1923 році Вейль і Еддінгтон показали, що і у світі де Сіттера (просторі без речовини) пробні частинки також розбігаються без участі «відштовхувальної» гравітації. Експериментальне виявлення Хабблом факту розширення Всесвіту остаточно переконало Ейнштейна в помилковості або необов'язковості введення λ - члена в рівняння тяжіння.

Але залишилося осторонь вирішення проблеми походження інерції. Сам встановлений теоретично і підтверджений експериментально факт розширення Всесвіту ще не відповідав на питання про фізичну природу інерції. На думку А. Пайса «проблема походження інерції була і залишається найбільш темним питанням ...» [12].

Таким чином, виявлене на той час розширення Всесвіту зовсім не вимагало якоїсь додаткової сили, воно відбувалося в рамках уявлень про інерційну систему (галактику), що рухається із постійною швидкістю, але відповідно до закону Хаббла збільшується з віддаллю відносно спостерігача.

І тільки відкриття прискореного розбігу далеких галактик поставило нове питання: звідки походить сила, яка змушує галактики прискорено розбігатися, незважаючи на те, що з усіх відомих сил, у даному випадку, присутня лише гравітація, що «притягує». Довелося знову повертатися до λ - члена і, відповідно до "відштовхувальної гравітації" або темної енергії. Але, як уже зазначалося вище, λ - член відповідає за ніби властивий простору новий тип енергії - негативну гравітаційну енергію. Тобто проблема походження інерції також якимось чином повинна пов'язуватися з негативною гравітаційною енергією, причому такою, яка діє не на віддалі, а безпосередньо в точці, що розглядається - локально.

На наш погляд, певна суперечність, у поясненні взаємодії «притягувальної» та «відштовхувальної» гравітації полягає в тому, що природа цих сил різна і пов'язується з фізичними полями різної природи – гравітаційним полем речовини в першому випадку та полем вакууму (полем Хіггса або «темною енергією») – у другому. Але принцип еквівалентності стверджує рівність лише інертної маси та гравітаційної. Його «розширений» варіант має припускати еквівалентність інертної маси та «темної» енергії-маси. Нам невідома наявність обґрунтування цієї еквівалентності. В даний час широкого поширення набула гіпотеза про те, що поле Хіггса надає частинці масу, без цього поля частка залишалася б безмасовою. Можливо, у цьому висновку і міститься зміст розширеного принципу еквівалентності.

Якщо в якості сил, що розтягують Всесвіт розглядати гравітаційний вплив зовнішніх мас, що буде продемонстровано нижче, то суперечності у застосовності принципу еквівалентності немає, обидві сили – що розтягує і притягує мають і ту ж гравітаційну природу.

Зробимо ще одне застереження. Протягом багатьох років фізики намагаються побудувати квантову теорію гравітації, метою якої є квантовий опис гравітаційної взаємодії, зокрема із залученням ЗТВ з його установкою на зв'язок гравітації з викривленим простором-часом [10,11,13-15]. Але квантова механіка описує властивості об'єктів, які існують у плоскому (невикривленому) ньютонівському просторі. Тому можна очікувати, що більш успішнішим виявиться комплексування квантової механіки з польовою (ньютонівською) теорією гравітації в модифікованому варіанті реалізації – МФТН і використанням плоского простору.

3. Гравітаційне поле створюване сферично-симетричною матеріальною оболонкою у внутрішній порожнині сфери.

Як уже згадувалося, теорія тяжіння Ейнштейна, як і теорія тяжіння Ньютона, мають одну важливу особливість. Згідно них сферично-симетрична матеріальна оболонка не створює ніякого гравітаційного поля у внутрішній порожнині [2,13]. Що стосується теорії Ньютона це доводиться так (рис. 1).

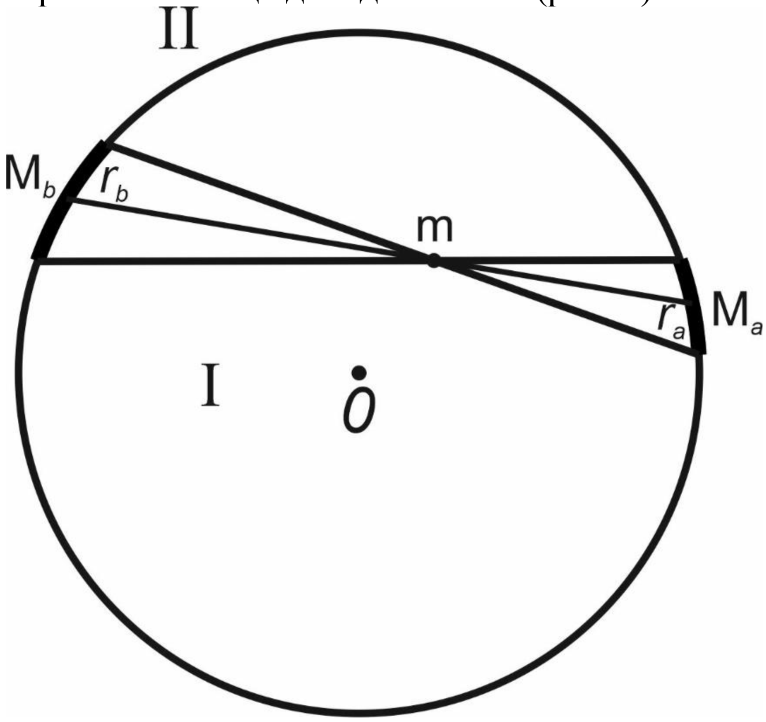


Рис.1. Про вплив зовнішніх мас простору II на величину гравітаційного поля всередині порожньої сфери (куля I).

З теорії тяжіння Ейнштейна, як і теорії тяжіння Ньютона, випливає, що сферично-симетрична матеріальна оболонка зовнішнього простору II не створює жодного гравітаційного поля у внутрішній порожнині I. Сили тяжіння, що впливають на пробну масу m з боку мас M_a і M_b, рівні по абсолютній величині, спрямовані в протилежні сторони і врівноважують одна одну.

З МФТН випливає, що маса $\mathrm{M_a}$, що знаходиться ближче до маси m, сильніше притягує масу m, ніж масивніша, але більш віддалена маса $\mathrm{M_b}$. Тобто сферично-симетрична матеріальна оболонка створює гравітаційне поле у внутрішній порожнині сфери. Іншими словами, в середовищі з розосередженою масою, на пробну масу m, що знаходиться всередині порожнини, діє спрямоване гравітаційне тяжіння мас, що знаходяться поза порожниною, яке прагне перемістити масу m до ближньої стінки порожнини.

Розглядається матеріальна сфера та точкова маса m у довільній точці усередині сфери. Порівнюються сили тяжіння, що створюються речовиною на ділянках сфери a та b, які тягнуть масу m у протилежні сторони. Оскільки маса вважається рівномірно розподіленою поверхнею сфери, то для мас майданчиків a і b виходить відношення $\frac{M_a}{M_b}=\frac{r_a^2}{r_b^2}$. Відношення сил, з якими майданчики притягують тіло, згідно із законом Ньютона записуються таким чином:

$$F_a=\frac{GM_am}{r_a^2},\quad F_b=\frac{GM_bm}{r_b^2},\quad \frac{F_a}{F_b}=\frac{M_ar_b^2}{M_br_a^2}. \tag{9}$$

Підставляючи в (9) замість $\frac{M_a}{M_b}$ його значення через квадрати відстаней, отримуємо $F_a=F_b$, тобто, що сили рівні по абсолютній величині, спрямовані в протилежні сторони і врівноважують одна одну. Висновок – усередині матеріальної сферичної оболонки сили тяжіння відсутні.

У разі ПН-наближення вираз (9) набуває наступного вигляду:

$$F_a=\frac{GM_am}{(r_a+r_{g_a})^2},\quad F_b=\frac{GM_bm}{(r_b+r_{g_b})^2},\quad \frac{F_a}{F_b}=\frac{M_a(r_b+r_{g_b})^2}{M_b(r_a+r_{g_a})^2}, \tag{10}$$

Де r_{g_a} і r_{g_b} - гравітаційні радіуси мас M_a та M_b.

А з урахуванням того, що $\frac{M_a}{M_b}=\frac{r_a^2}{r_b^2}$, маємо

$$\frac{F_a}{F_b}=\frac{r_a^2(r_b+r_{g_b})^2}{r_b^2(r_a+r_{g_a})^2}. \tag{11}$$

Будемо вважати, що відстань r_a менша за відстань r_b і проаналізуємо вираз (11), привівши його до вигляду:

$$\sqrt{\frac{F_a}{F_b}}=\frac{r_ar_b+r_ar_{g_b}}{r_ar_b+r_b\,r_{g_a}}. \tag{12}$$

Як бачимо, величина відношення сил $\frac{F_a}{F_b}$ може бути оцінена за допомогою величини відношення других доданків у чисельнику і знаменнику (12), тобто $\frac{r_a r_{g_b}}{r_b r_{g_a}}$. Оскільки

$$\frac{r_{g_a}}{r_{g_b}} = \frac{M_a}{M_b} = \frac{r_a^2}{r_b^2}, \text{ то } \frac{r_a r_{g_b}}{r_b r_{g_a}}. = \frac{r_b}{r_a}. \quad (13)$$

В підсумку

$$\sqrt{\frac{F_a}{F_b}} = \frac{\frac{r_a}{r_{g_a}} + \frac{r_b}{r_a}}{\frac{r_a}{r_{g_a}} + 1} \quad (14)$$

З урахуванням того, що $r_b > r_a$, робимо висновок, що чисельник у (14) більший знаменника, а значить $F_a > F_b$. Тобто маса M_a, що знаходиться ближче до маси m, сильніше притягує масу m, ніж масивніша, але більш віддалена маса M_b.

Отже, з МФТН випливає, що сферично-симетрична матеріальна оболонка створює гравітаційне поле у внутрішній порожнині сфери. У центрі порожнини протилежно діючі сили врівноважені ($F_a = F_b$), але з віддаленням маси m від центру величина різниці ($F_a - F_b$) сил зростає. Іншими словами, в середовищі з розосередженою масою, на пробну масу m, що знаходиться всередині порожнини, діє спрямоване гравітаційне тяжіння мас, що знаходяться поза порожниною, яке прагне перемістити пробну масу до стінки порожнини.

Зробимо висновок. Якщо всередині статичного Всесвіту якимось чином сформувалася не заповнена речовиною порожнина, точніше – порожнина з меншою щільністю речовини, то гравітаційний вплив оточуючих цю порожнину мас призведе до подальшого зменшення щільності всередині порожнини. Можна припустити, що саме цей фізичний механізм лежить в основі утворення гігантських (10-100 Мпк) «порожніх» космічних просторів - війд, середня щільність матерії в яких менше десятої частки від середньої щільності для Всесвіту.

І другий висновок. Якщо в первинно однорідному стаціонарному Всесвіту внаслідок флуктуаційних процесів утворилося поле з випадково розподіленим у просторі значенням щільності, то ділянки зі зниженим значенням щільності будуть трансформовані у війди, а речовина, що залишила їх, утворює скупчення у вигляді галактичних ниток (філаментів, волокон). Тобто відбудеться щільнісна фрагментаризація об'єму Всесвіту – утворення об'ємної космічної комірчастої павутини.

4. Гравітаційний вплив ближніх зовнішніх мас як причина утворення «космічного павутиння».

Структура МФТН може створити враження, що весь простір Всесвіту аж до нескінченності впливає на величину поля в довільній точці A всередині порожнини або поверхні кулі I (рисунок). Покажемо, що насправді в статичному Всесвіті такий вплив мають лише прилеглі до кулі або порожнини зовнішні маси і, згідно з МФТН, цей вплив проявляється в утворенні космічних порожнин і волокон.

Виберемо як початок координат довільну точку A на поверхні кулі (порожнини) I масою M і радіусом r_0 (рис. 2). Проведемо з точки A коло радіусом $2r_0$. Усі точки поза сферою радіусом $2r_0$ взаємно симетричні щодо точки A, тому їх гравітаційні впливи на поле у цій точці взаємно компенсуються. Факт компенсації пояснюється тим, що гравітаційне поле не екранується ніякими масами, у тому числі й масою тіла I, тому присутність кулі I не порушує принципу взаємно компенсуючого впливу зовнішніх мас, що знаходяться на відстані $r > 2r_0$, на прискорення в точці A.

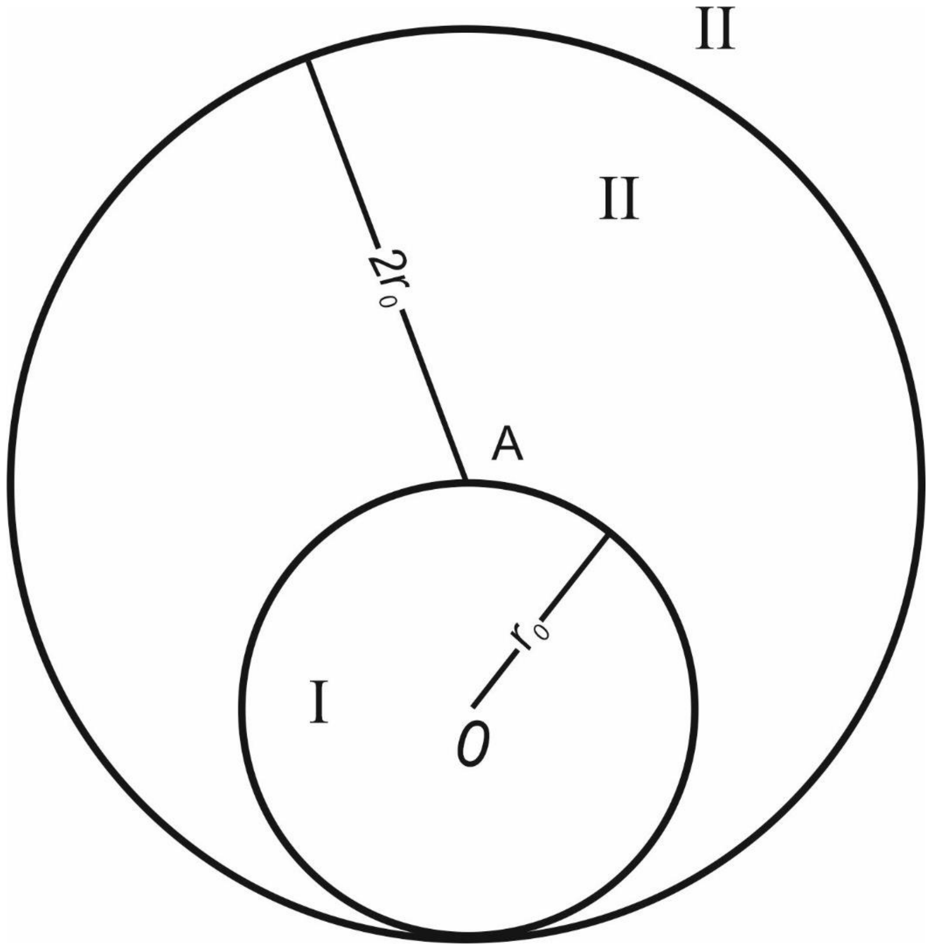


Рис.2. До величини напруженості гравітаційного поля в точці A поверхні однорідної кулі I з густиною ρ_1 і радіусом r_0, що знаходиться в просторі II із густиною ρ_2.

Напруженість поля у точці А визначається як масою кулі I, так і масою речовини у просторі II на відстані $\mathrm{r} \leq 2\mathrm{r}_0$. Речовина на віддалі $\mathrm{r} > 2\mathrm{r}_0$ не створює напруженості в точці А. Напруженість гравітаційного поля в точці А визначається формулою:

$$g = \frac{4}{3} G\pi r_0(\rho_1 - \rho_2).$$

При $\rho_1 > \rho_2$ у точці А переважає напруженість стиснення, при $\rho_1 < \rho_2$ – напруженість розтягування.

Щодо центру мас O тіла зовнішнє середовище, що визначає напруженість поля на поверхні кулі, обмежене сферою радіусом $3r_0$. Тому, чим менші розміри тіла, тим менша величина навколишнього простору, маса якого впливає на значення прискорення на поверхні тіла і навпаки. Так, для Землі $r_0 = 6371{,}03$ км, дієві зовнішні маси (у випадку рівномірно розосередженої маси з тією ж щільністю, що і щільність Землі) перебувають у межах сфери з радіусом, проведеним із центру Землі, рівним 19113,9 км. Для Галактики з r_0 рівним 50 тисяч світлових років, ця величина дорівнює 150 тисяч світлових років. Для Всесвіту радіус впливу має значення мільйони і мільярди світлових років.

Гравітаційне прискорення g у точці A складається з двох частин – прискорення g_1 створюваного масою M кулі I та прискорення g_2 створюваного масою m речовини частини кулі II, що знаходиться поза кулею I, тобто

$$g = g_1 + g_2. \tag{15}$$

Величина g_1 визначається формулою (3). Цінність використання в даному випадку формули обернених квадратів полягають у тому, що визначення поля g_1 у точці A залежить тільки від маси M кулі I та його радіусу r_0 і не залежить від зовнішньої маси m.

Зазначимо, що в даному випадку «недолік» ФТН (з точки зору вимог ОТО), що полягає у використанні «нелокального» параметра r_0, перетворюється на перевагу – можливість оцінити внесок у сумарне поле точки A тільки маси M кулі I.

Вимоги локальності вимірювання гравітаційного поля відповідає визначення g за допомогою маятника:

$$g = 4\pi^2 l/T^2, \tag{16}$$

де l - довжина маятника, яка теоретично може бути як завгодно малою, T - період коливання маятника. Як бачимо, у вираз (16) не входить параметр r_0 (відстань від точки A до центру мас тіла I), що властиво виразу для g_1 у звичайній формулі Ньютона (1). Навпаки, визначення g за допомогою виразу (16) задовольняє принципу локальності, що узгоджується з вимогами загальної теорії відносності. Але ця «перевага» локальності визначення прискорення

характеризується важливою особливістю: поле в точці вимірювання залежить від усіх оточуючих точку A мас, всі навколишні маси вносять відповідний їх масі та віддаленню внесок у поле точки A.

Тож у нашому випадку за допомогою (16) у рівнянні (15) визначається сумарне прискорення g. А прискорення, яке створюється зовнішніми масами, визначається як різниця:

$$g_2 = g - g_1 \,. \tag{17}$$

Слід зазначити, що формули експериментального визначення прискорення – (3) і (16), насправді мають різну смислову значимість. Формула Ньютона (1), як і її модифікований варіант (3), є, умовно кажучи, «дистальними», що використовують поняття «центру мас» та відстань від центру мас до досліджуваної точки. Ними характеризується поле зосередженої маси. Формула (16) визначає поле у локальній точці, тому нею характеризується поле розосередженої маси.

Покажемо, що окрім визначення напруженості поля g за допомогою принципу маятника (16), існує і більш зручний спосіб при відомих щільності - ρ_1 у кулі I та ρ_2 – у середовищі II. У наближенні ФТН прискорення $g_1 = \frac{GM}{r_0^2}$, $M = \frac{4}{3}\pi r_0^3 \rho_1$. Або $g_1 = \frac{4}{3} G\pi r_0 \rho_1$. Якби середовище II займало весь обсяг кулі з радіусом $2r_0$, то напруженість поля в центрі такої кулі, тобто в точці A, дорівнювала б нулю. Тому з урахуванням відсутності середовища II в обсязі кулі I напруженість, створювана середовищем II в точці A, дорівнюватиме різниці напруженості створюваних повною кулею II і кулею I з щільністю ρ_2. Тобто $g_2 = 0 - \frac{4}{3} G\pi r_0 \rho_2 = - \frac{4}{3} G\pi r_0 \rho_2$.

В результаті сумарна напруженість поля в точці А дорівнюватиме:

$$g = g_1 + g_2 = \frac{4}{3} G\pi r_0 (\rho_1 - \rho_2). \tag{18}$$

Як бачимо, визначальний вплив на поле в точці А має контрастність щільності тіла і речовини навколишнього простору. Очевидно, що чим менша контрастність, тим більший вплив зовнішніх мас.

Напруженість, що створюється зовнішніми масами на поверхні кулі, залежить від двох параметрів – радіуса кулі r_0 і щільності речовини зовнішнього середовища ρ_2:

$$g_2 = - \frac{4}{3} G\pi r_0 \rho_2. \tag{19}$$

У центрі O кулі I ($r_0 = 0$) $g_2 = 0$, тобто зовнішні маси, як і внутрішні, не створюють поля у центрі кулі. Зі збільшенням радіусу кулі r_0 вплив зовнішніх

мас на напруженість на поверхні кулі збільшується за лінійним законом, але обмежується масами середовища II, які містяться всередині сфери з радіусом $3r_0$.

Іншими словами, з віддаленням від центру O кулі величина напруженості розтягування (знак мінус у виразі для g_2) на поверхні кулі зростає так само, як це постулюється для «темної енергії». Але фізична природа цього явища («відштовхувальної» гравітації) визначається лише гравітаційним впливом зовнішніх по відношенню до досліджуваного тіла мас.

Що ж до впливу контрастності щільності, то при $\rho_1 > \rho_2$ у точці A переважає напруженість стиснення, при $\rho_1 < \rho_2$ – розтягу.

З проведеного дослідження слідує, що вплив напруженості розтягування не поширюється далі обсягу сфери II. Тому у разі $\rho_1 < \rho_2$ частка з точки A зміститься у напрямку зовнішнього радіусу сфери II і зупиниться, не проникаючи далі відстані $2r_0$ від точки A. Тим самим, навколо центру O порожнини I на відстані $r_0 < r < 3r_0$ речовина, яка мігрувала в середовище II із середовища I, утворює порожню кулю підвищеної щільності.

У Всесвіті з випадково розподіленим у просторі значенням щільності ділянки зі зниженим значенням щільності трансформуються у війди, а речовина, що залишила їх, утворює скупчення з підвищеним значенням щільності речовини у вигляді галактичних ниток (філаментів, волокон).

5. Фізична природа сили, що відповідає за прискорене розширення Всесвіту.

Вище було показано, що у статичному Всесвіті з однорідним ізотропним розподілом речовини та флуктуючим значенням щільності відповідно до МФТН відбуватиметься фрагментація речовини з утворенням порожнин – війд та галактичних волокон. Одним із наслідків проведеного розгляду є те, що в принципі однорідний статичний Всесвіт має право на існування, оскільки на будь-яку його точку діють врівноважуючі гравітаційні сили – з боку внутрішніх і, відповідно, зовнішніх мас. Але рівняння ОТО показують, що Всесвіт не може бути статичним. Тканина простору може розтягуватися або вона може скорочуватися, але вона не може зберігати фіксований стан.

Покажемо, що й у польової теорії гравітації стаціонарний стан Всесвіту виявляється неможливим. У разі зосередженої маси граничні значення гравітаційного потенціалу дорівнюють:

$$\lim_{r\to 0}\varphi = -\lim_{r\to 0}\frac{GM}{r+r_g} = -\lim_{r\to 0}\frac{G}{\frac{r}{M}+\frac{2G}{c^2}} = -\frac{c^2}{2},\ \ M \neq 0. \tag{20}$$

$$\lim_{r\to \infty}\varphi = -\lim_{r\to \infty}\frac{G}{\frac{r}{M}+\frac{2G}{c^2}} = 0,\ \ M \neq 0. \tag{21}$$

Висновок: При зосередженій масі центр мас ($r = 0$) характеризується мінімальним значенням гравітаційного потенціалу, тому вплив гравітації виявлятиметься тяжінням матеріальних частинок до центру мас тіла.

У разі розосередженої маси граничні значення для гравітаційного потенціалу набувають такого вигляду:

$$\lim_{r\to 0}\varphi(r_i) = -\lim_{r\to 0}\frac{Gm_i}{r_i + r_{g_i}} = -\lim_{r\to 0}\frac{G}{\frac{1}{\frac{4}{3}\pi r_i^2\rho} + \frac{2G}{c^2}} = 0, \quad (22)$$

$$\lim_{r\to\infty}\varphi(r_i) = -\lim_{r\to\infty}\frac{G}{\frac{1}{\frac{4}{3}\pi r_i^2\rho} + \frac{2G}{c^2}} = -\frac{c^2}{2}. \quad (23)$$

Тут $m_i = \frac{4}{3}\pi r_i^3\rho$, ρ – щільність.

Висновок: При розосередженій масі мінімальне значення гравітаційного потенціалу знаходиться на нескінченності. Тому вплив гравітації буде проявлятися тенденцією руху матеріальних частинок від будь-якої обраної точки, з якою зв'язуємо початок системи координат ($r = 0$), у напрямку нескінченності.

Таким чином, середовище з однорідно та ізотропно розосередженою масою, моделлю якої ми описуємо Всесвіт, і в умовно первинному стаціонарному стані містить передумову для розширення, оскільки характеризується спрямованим від будь-якої точки до нескінченності градієнтом гравітаційного потенціалу. Але оскільки нескінченність «оточує» обрану точку з усіх боків, то в результаті всі впливи врівноважуються і точка залишається нерухомою.

Не вдаючись у розгляд стійкості стану стаціонарного Всесвіту, розглянемо нестаціонарний Всесвіт, який вже розширюється відповідно до класичної моделі Хаббла, коли швидкості видалення галактик від умовного центру пропорційні відстані до центру.

Всі галактики можна розглядати як інерційні системи із зростаючими, але для кожної зокрема постійним значенням швидкості. Відповідно до законів Ньютона жодних додаткових сил для прямолінійного руху з постійними швидкостями не потрібно. Вважається, що факт прямолінійного руху був заданий Великим Вибухом. Зв'язавши початок системи координат з однією з галактик, що віддаляються, отримаємо, що інші галактики віддаляються від її центру із збільшуваними пропорційно відстані швидкостями.

Як було показано вище (рис. 2), поява сили розтягування (або «антигравітаційної» по відношенню до обраного початку координат) відбувається в тому випадку, якщо щільність зовнішніх мас більша за щільність внутрішніх. У однорідному Всесвіті таке збільшення можливе тільки з урахуванням релятивістської енергії галактик, що рухаються.

Оскільки з віддаленням від точки початку координат швидкості галактик збільшуються, то відповідно і їхня релятивістська маса m також збільшується:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}. \tag{24}$$

Де m_0– маса галактики в стані спокою. Тому у Всесвіті, що розширюється, щільність зовнішніх мас завжди більше щільності внутрішніх мас, тобто тих, що знаходяться всередині кулі - між початком координат і досліджуваною точкою на її поверхні. Ця відмінність супроводжується появою радіального прискорення розтягування спрямованого в сторони від початку координат.

Зазначимо деякі особливості цього процесу. По-перше, залежність *m(v)* має такий характер, що чим далі від початку координат знаходиться досліджувана точка, тим її «антигравітаційне» прискорення виявляється більшим. І, навпаки, що ближча точка до початку координат, то величина прискорення менша і дорівнює нулю в точці початку координат. Певним «вододілом» між порівняльним впливом сил гравітаційного тяжіння і розтягування є точка $r_e = r_g/\sqrt{3}$, в якій у статичному Всесвіті прискорення тяжіння перериває своє зростання і починає зменшуватися, тоді як прискорення розтягування продовжує збільшуватися.

Власне, завдяки наявності точки r_e з експериментальних спостережень було зроблено висновок, що саме по досягненню Всесвітом цього розміру він почав розширюватися прискорено. Насправді у Всесвіті прискорено рухається будь-яка галактика, рівномірний рух є ідеалізацією. А напрямок руху залежить від співвідношення сил тяжіння і розтягування з урахуванням початкової швидкості галактики, що визначається Великим Вибухом.

З поняттям релятивістської маси пов'язане питання про природу темної енергії. Зрозуміло, що у нашому розгляді роль темної енергії для кожної галактики виконує релятивістська енергія:

$$E_r = \left(\frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - m_0\right)c^2. \tag{25}$$

Для всього Всесвіту $E_r = (M - M_0)c^2$, де M_0 – маса стаціонарного, а M – нестаціонарного Всесвіту. З урахуванням структури формули (24) не викликає сумніву, що частка релятивістської густини речовини (енергії) може значно перевищувати частку сумарної густини баріонної та темної речовини.

Може здатися, що у запропонованій моделі прискореного розширення порушується вимога однорідності речовини Всесвіту по щільності. Насправді це не так. Статичний Всесвіт характеризується однорідністю густини своєї речовини при розгляді у великих масштабах. І тільки в динамічній моделі щільнісна неоднорідність з'являється внаслідок релятивістського збільшення мас, що рухаються. При цьому релятивістське збільшення віддалених мас відбувається щодо будь-якої точки Всесвіту. Тому середнє значення щільності в динамічному Всесвіті буде значно більшим, ніж у статичному, що й пояснює, як нам видається, природу «темної енергії».

6. Обговорення результатів та висновки

1. У попередньому дослідженні [4] було представлено отриману в рамках польової теорії тяжіння модифіковану формулу тяжіння Ньютона (МФТН). Підтвердженням її правочинності є теоретична оцінка величини раніше експериментально отриманого початку прискореного розширення Всесвіту (5-6 млрд років тому). У цій роботі досліджується природа сили, що призводить до цього прискорення, а також до утворення космічного павутиння - війд (гігантських порожнин) і волокон (ниткоподібних скупчень галактик) у просторі Всесвіту.

2. Запропонований вираз для МФТН є динамічно прийнятним. Відповідно до нього для випадку рівномірно розподіленої щільності речовини у просторі статичного (стаціонарного) Всесвіту прискорення на нескінченності прямує до нуля, а значення гравітаційного потенціалу до величини $-c^2/2$.

3. Така поведінка гравітаційного потенціалу (0 у будь-якій точці континууму і $-c^2/2$ на нескінченності від неї) є сприятливою початковою передумовою для переходу Всесвіту з нестійкого статичного стану в динамічний стан розширення (розтягування) всієї «тканини» вселенського простору. Тим самим розширення Всесвіту може розглядатися як його внутрішня властивість (саморозвиток Всесвіту).

4. З МФТН також слідкує, що сферично-симетрична матеріальна оболонка, на відміну висновків теорій тяжіння Ньютона і Ейнштейна, створює гравітаційне полі у внутрішньому об'ємі порожнистої сфери. У Всесвіті з розосередженою речовиною, маси, що знаходяться всередині порожнини з меншим, ніж у навколишньому середовищі значенням щільності речовини, зазнають спрямованого гравітаційного впливу з боку розташованих поза порожниною мас, які прагнуть перемістити масу, що знаходиться всередині порожнини, до стінки порожнини. З віддаленням від центру порожнини величина прискорення руху зростає. Фізична природа цього явища визначається лише гравітаційним впливом зовнішніх по відношенню до порожнини мас.

5. Напруженість поля (прискорення руху) у точці, що знаходиться на відстані $0 < r < r_0$ від центру порожнини дорівнює $g = \frac{4}{3} G\pi r(\rho_1 - \rho_2)$, де ρ_1 – – щільність речовини всередині порожнини, а ρ_2– поза нею. При $\rho_2 > \rho_1$ напруженість стає негативною, спрямованою до зовнішньої межі порожнини. Чим більша контрастність щільностей і відстань від центру порожнини, тим більше значення прискорення.

6. Тому якщо в первинно однорідному стаціонарному Всесвіті внаслідок флуктуаційних чи інших процесів утворилося поле з випадково розподіленими у просторі незначними змінами щільності, то ділянки зі зниженими значеннями щільності (умовні порожнечі) трансформуються у війди. А речовина, що їх залишила, утворює по периферії війд скупчення у вигляді галактичних ниток (волокон). Тобто відбувається щільнісна фрагментація обсягу Всесвіту – утворення об'ємної космічної павутини або комірчастої щільної структури.

7. Не весь простір однорідного Всесвіту аж до нескінченності впливає на величину поля в довільній точці всередині порожнини. Насправді в статичному Всесвіті такий вплив мають лише прилеглі до центру порожнини маси, що знаходяться на відстані не більше трьох радіусів r_0 кулястої порожнини. Тим самим, навколо центру O порожнини на відстані $r_0 < r < 3r_0$ від її центру речовина, яка мігрувала з порожнини, утворює оболонку підвищеної щільності з внутрішнім радіусом r_0і зовнішнім $3r_0$.

8. Для нестаціонарного Всесвіту у великих масштабах, що вже розширюється відповідно до класичної моделі Хаббла, коли швидкості віддалення галактик від умовного центру пропорційні відстані до центру, природа прискореного руху галактик інша. Поява сили розтягування (або «відштовхувальної» по відношенню до обраного початку координат) відбувається в тому випадку, якщо щільність зовнішніх мас більша за щільність прилеглих до центру внутрішніх мас. У однорідному Всесвіті таке збільшення можливе тільки з урахуванням релятивістської енергії галактик, що рухаються.

9. Оскільки з віддаленням від точки початку координат швидкості галактик збільшуються, то відповідно і їхня релятивістська маса також збільшується. Тому в Всесвіті, що розширюється, щільність зовнішніх мас для будь-якої кулі всередині Всесвіту завжди більша щільності внутрішніх мас. Ця відмінність супроводжується появою спрямованого в усі сторони від початку координат прискорення розтягування, тим більшого, чим далі знаходиться галактика від початку координат.

10. Релятивістське збільшення віддалених мас відбувається щодо будь-якої точки Всесвіту. Тому середнє значення щільності речовини в динамічному Всесвіті буде значно більше, ніж у статичному Всесвіті. Це полегшує, як нам видається, розуміння того факту, що щільність спостережуваної речовини у Всесвіті значно менша за необхідне для існування плоского Всесвіту критичного значення щільності. У нашому випадку роль необхідної «добавки», або «темної енергії» виконує релятивістська енергія динамічного Всесвіту.

11. Одночасно з силою розтягування на досліджувану галактику діє і сила тяжіння з боку внутрішніх мас, які зосереджені під сферою, що проходить через галактику, з центром на початку координат. Певним «вододілом» між порівняльним впливом сил гравітаційного тяжіння і розтягування є точка $r_e = r_g/\sqrt{3}$, r_g - гравітаційний радіус, у якій у статичному Всесвіті прискорення тяжіння перериває своє зростання і починає зменшуватися, тоді як прискорення розтягування продовжує зростати.

12. Тому точка r_e виявилася найбільш контрастною в полі швидкостей галактик і, відповідно, легше виявляється. Її експериментальне встановлення послужило основою висновку, що саме 5-6 млрд років тому почалося прискорене розширення Всесвіту. Хоча з логіки проведеного дослідження випливає, що якщо Всесвіт залишався плоским протягом, наприклад, фрідманівського часу його існування, то на тлі Всесвіту, що розширюється, і, відповідно, збільшення

значення r_g , зберігався і поділ простору на ближній підпростір з переважанням сил тяжіння і дальній – з переважанням сил розтягування.

Список літератури

1) Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Теория поля. — Издание 8-е, стереотипное. — М.: Физматлит, 2006. — 534 с.
2) Пантелеев В. Л. Физика Земли и планет. Курс лекций. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Физический факультет. Москва,2001. 117 с.
3) Общая теория относительности: Пер. с англ./Под ред. С. Хокинга, В. Израэля. – М.: Мир, 1983. – 455 с.
4) Іван Карпенко. Постньютонівське наближення в теорії гравітації сферично симетричного тіла. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 1, No. 3, 2022, pp. 126-147. doi:10.46299/j.isjea.20220103.4.
5) Милгром М. Модифицированная ньютоновская динамика (1983г) – MOND [https://ru.wikipedia.org/wiki.
6) Логунов А. А. «Лекции по теории относительности и гравитации. Современный анализ проблемы», М.:" Наука" (1987)
7) Логунов А. А. Релятивистская теория гравитации. — М.: Наука, 2006. — 253 с.
8) Захаров В.Д. Тяготение. От Аристотеля до Эйнштейна. – Москва: БИНОМ. Лаб. знаний, 2003. – 278 с.
9) Кузьмичев В. Е. Законы и формулы физики / Отв. ред. В. К. Тартаковский. – Киев: Наук. думка, 1989. – 864 с.
10) Кузьмичов В.Є., Кузьмичов В.В.. "Квантові поправки до динаміки гравітаційної системи", УФЖ, 2019, Vol. 64, No. 12, p. 1135–1139.
11) Кузьмичов В.Є., Кузьмичов В.В.. "Узагальнений принцип невизначеності у квантовій космології", УФЖ, 2019, Vol. 64, No. 11, p. 1043–1046.
12) Пайс А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна: Пер. с англ./Под ред. акад. А. А. Логунова. – М.; Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит, 1989. – 568 с.
13) Новиков И. Д. Эволюция Вселенной – 2-е изд., перераб. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983, 192 с.
14) Грин Б. Р. Ткань космоса: Пространство, время и структура реальности / Перевод Юрия Артамонова книги «The fabric of the cosmos: space, time and the texture of reality / Brian R. Greene». Random House, Inc., New York, 2004. ISBN 0-375-41288-3. y-a-arta@yandex.ru.
15) Сасскинд Л. Битва при черной дыре. Мое сражение со Стивеном Хокингом за мир, безопасный для квантовой механики. – СПб.; Питер, 2013. – 448 с.